

I zasada termodynamiki

- Układ termodynamiczny
- Równowaga termodynamiczna
- Praca
- I zasada dla układu zamkniętego
- Entalpia
- I zasada dla układu otwartego
- Ciepło właściwe
- K
- Sprawność

I zasada termodynamiki

I zasada termodynamiki jest zastosowaniem zasady zachowania energii do układu termodynamicznego

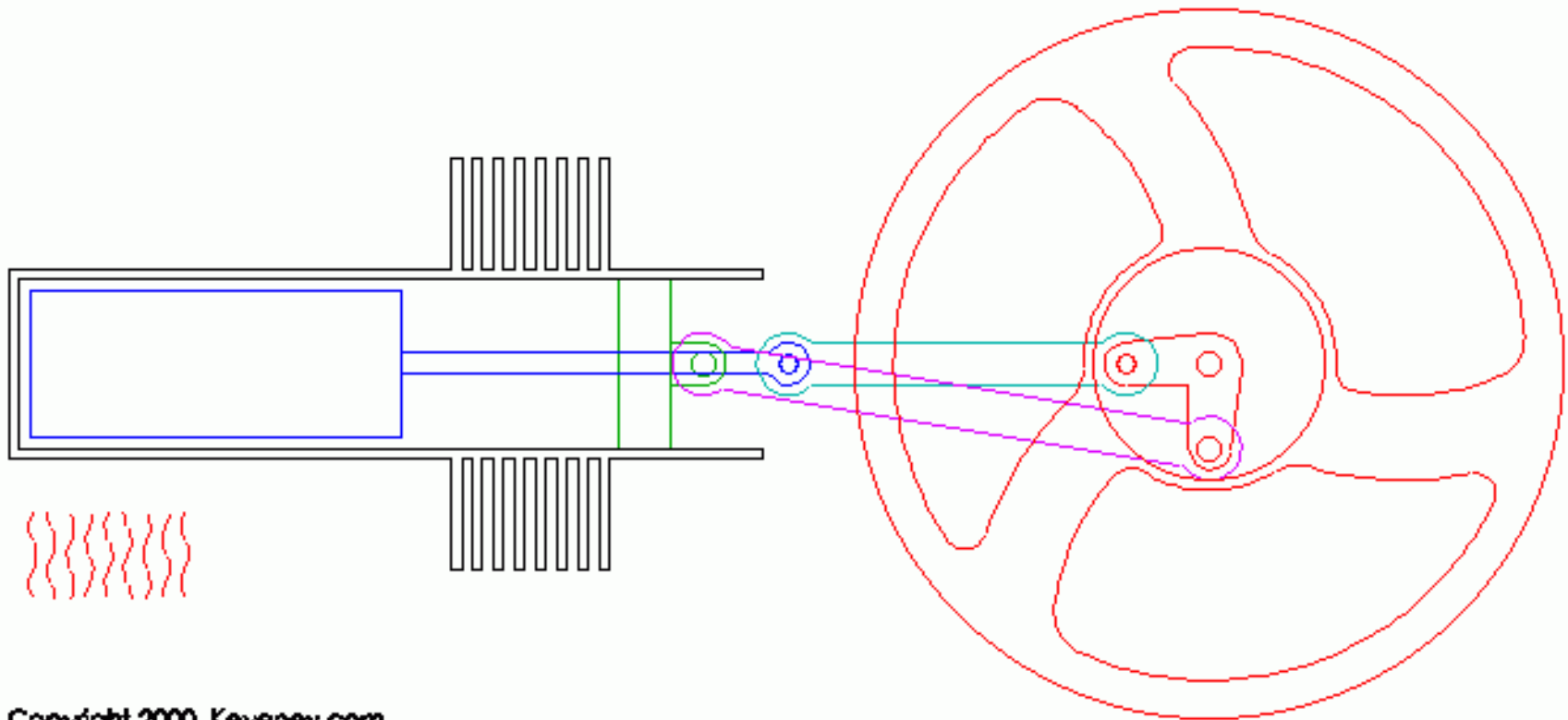
otoczenie (układu termodynamicznego)



I zasada termodynamiki

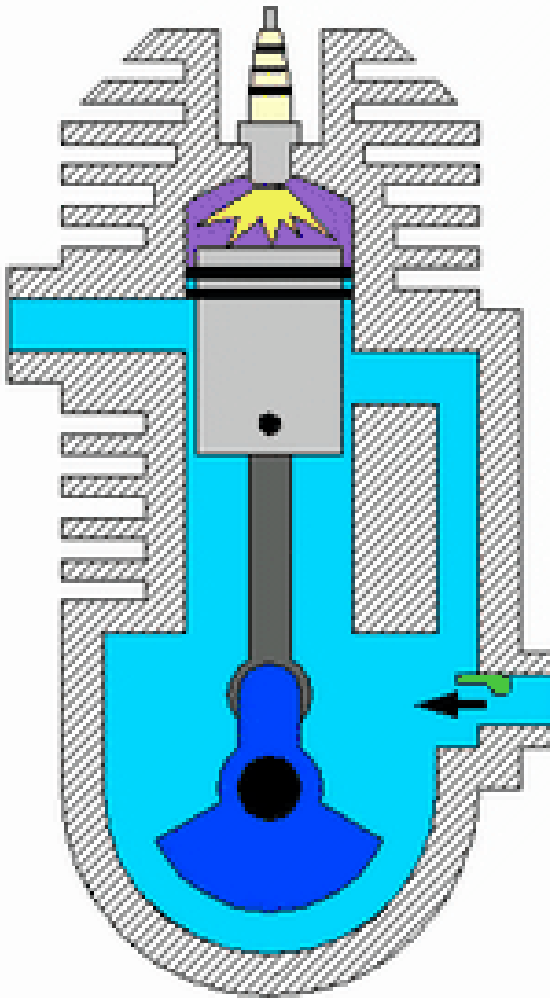
- Rozróżniamy układy termodynamiczne;
- zamknięte – ilość substancji w układzie jest stała (przez osłonę nie przepływa substancja)
 - otwarte – ilość substancji w układzie może się zmieniać (przez osłonę przepływa substancja)

I zasada termodynamiki



Copyright 2000, Keveney.com

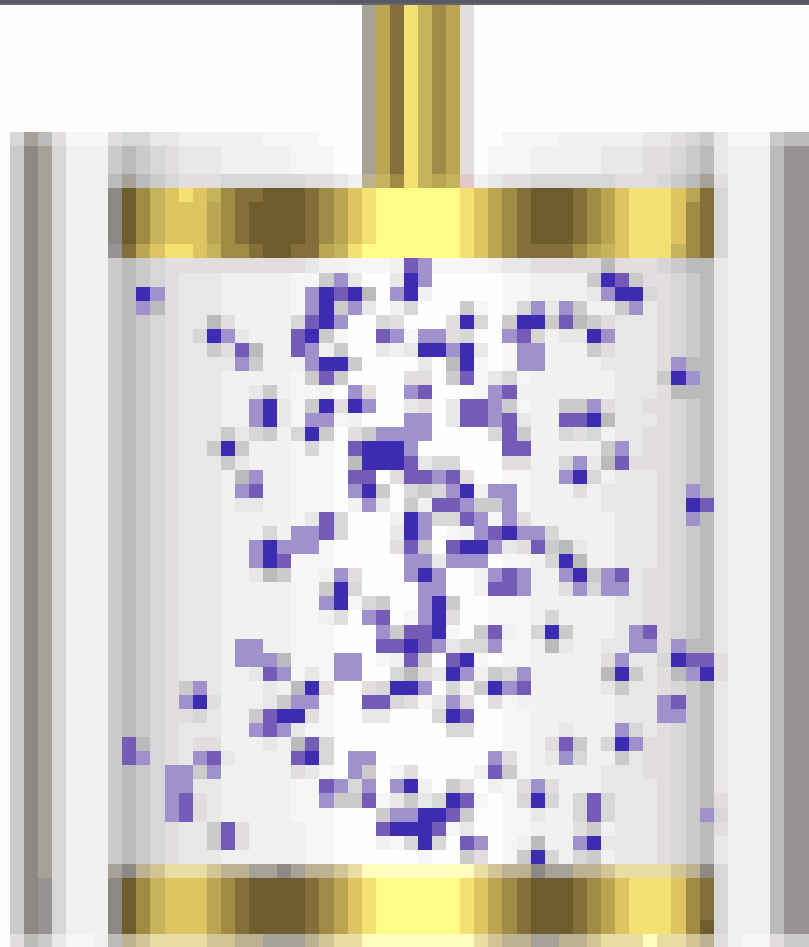
I zasada termodynamiki



I zasada termodynamiki

- Układ izolowany (odosobniony) jest to układ, w którym przez osłonę nie przepływa ani substancja, ani energia
- Układ izolowany cieplnie lub adiabatyczny jest to układ, w którym można wykonywać pracę, a przez osłonę nie może przepływać substancja i ciepło

I zasada termodynamiki



I zasada termodynamiki

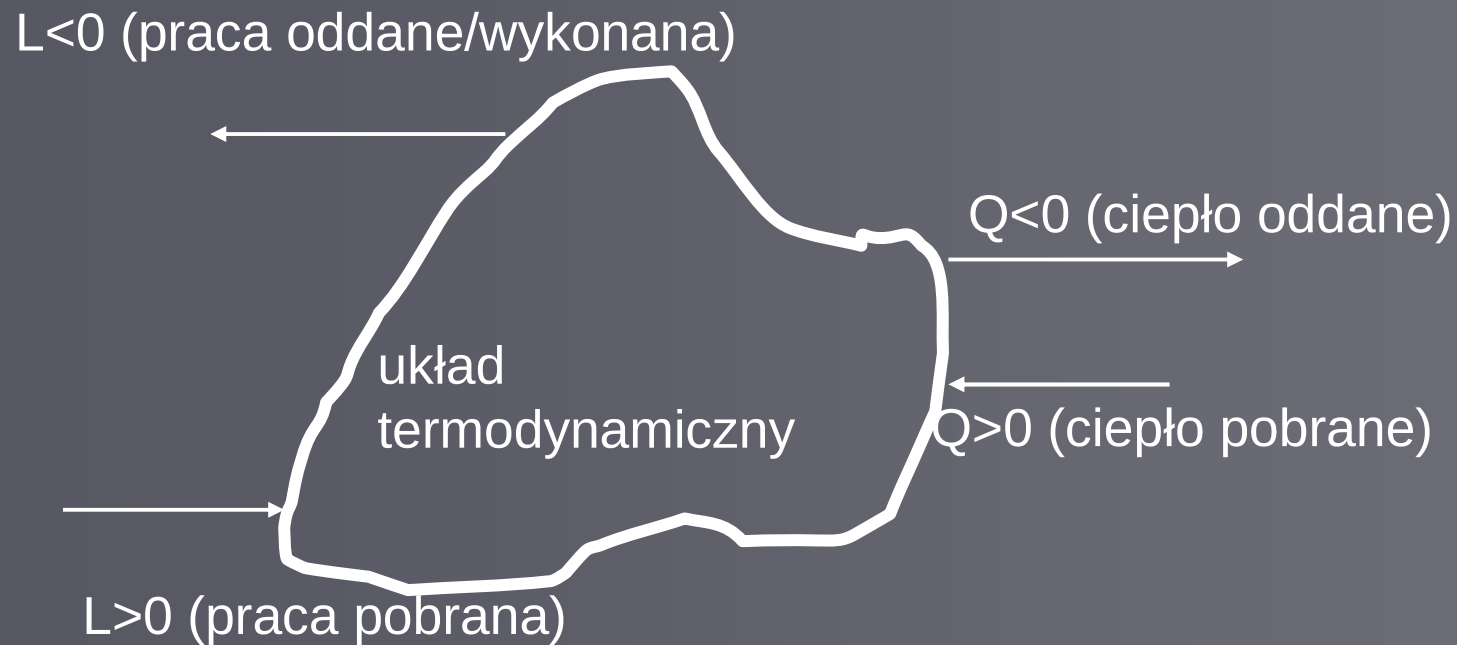
- Równowaga termodynamiczna jest to taki stan układu termodynamicznego, w którym parametry termodynamiczne w całym układzie nie zmieniają wartości
- W układzie odizolowanym od otoczenia równowaga termodynamiczna oznacza brak różnic temperatur i ciśnień wewnątrz układu
- Stan taki ustala się samorzutnie po pewnym czasie od odizolowania układu
- Jeśli układ nie jest izolowany, to równowaga termodynamiczna oznacza stały przepływ substancji lub energii i stałą temperaturę i ciśnienie w danym miejscu układu

I zasada termodynamiki

Przepływ energii przez osłonę oznacza zmianę energii układu. Bez przepływu substancji przez osłonę mogą przepływać dwa rodzaje energii:

- ciepło – jest to energia wewnętrzna (energia kinetyczna cząstek) przekazywana między otoczeniem, a układem
- praca

I zasada termodynamiki



I zasada termodynamiki

$$Q_{1,2} = \Delta U_{1,2} + L_{1,2}$$

$$Q_{1,2} = \Delta U_{1,2} + p \bullet \Delta V_{1,2}$$

$$q_{1,2} = \Delta u_{1,2} + l_{1,2}$$

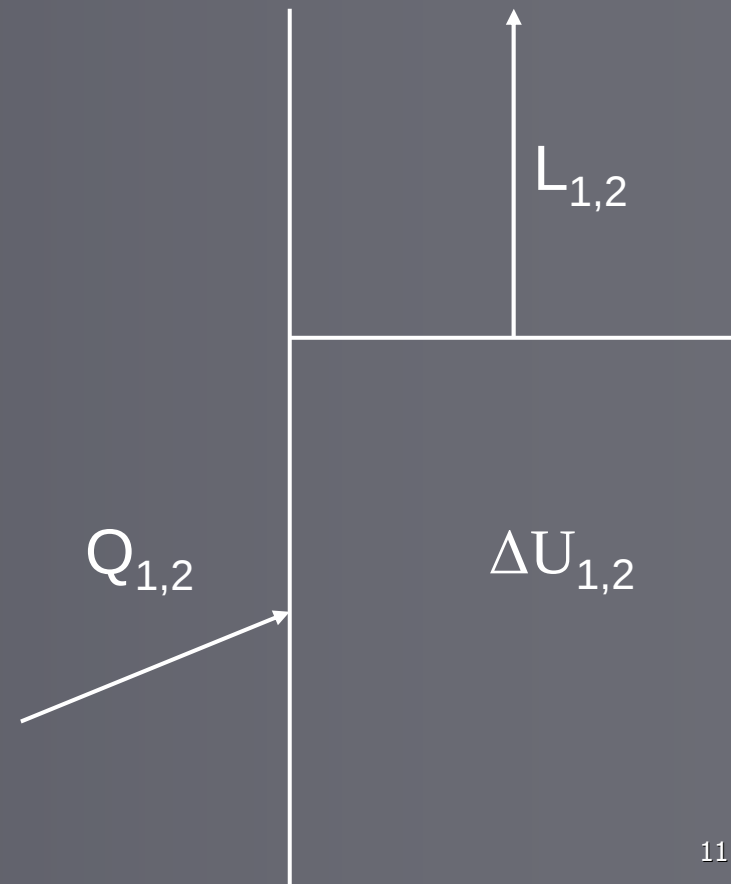
$$q_{1,2} = \Delta u_{1,2} + p \bullet \Delta v_{1,2}$$

$$dq = du + dl$$

$$dq = du + p dv$$

$$\Delta U_{1,2} = Q_{1,2} + (-L_{1,2})$$

$$L_{1,2} = Q_{1,2} + (-\Delta U_{1,2})$$



I zasada termodynamiki

W układzie otwartym w bilansie energetycznym należy uwzględnić następujące energie związane z przepływem substancji i energii przez osłonę:

- praca wprowadzenia substancji do układu
- praca usunięcia substancji z układu
- energię substancji wprowadzanej do układu
- energie substancji usuwanej z układu
- ciepło pobrane przez układ
- pracę wykonaną przez układ
- zmianę energii substancji znajdującej się w układzie

I zasada termodynamiki

$$Q_{1,2} = \Delta I_{1,2} + L_{t1,2}$$

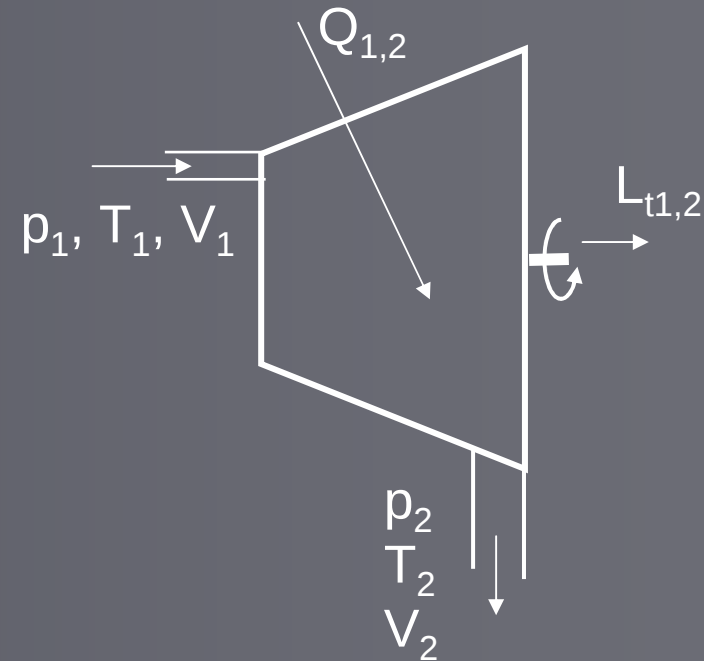
$$Q_{1,2} = \Delta I_{1,2} - V \bullet \Delta p_{1,2}$$

$$dQ = dI - Vdp$$

$$q_{1,2} = \Delta i_{1,2} + l_{t1,2}$$

$$q_{1,2} = \Delta i_{1,2} - v \bullet \Delta p_{1,2}$$

$$dq = di - vdp$$



I zasada termodynamiki

$$\begin{aligned}\Delta I_{1,2} + L_{t1,2} &= I_2 - I_1 + p_1 \bullet V_1 + L_{1,2} - p_2 \bullet V_2 = \\ &= U_2 + p_2 \bullet V_2 - (U_1 + p_1 \bullet V_1) + p_1 \bullet V_1 + L_{1,2} - p_2 \bullet V_2 = \\ &= U_2 - U_1 + L_{1,2} = \Delta U_{1,2} + L_{1,2}\end{aligned}$$

$$\Delta I_{1,2} - V \bullet \Delta p_{1,2} = \Delta U_{1,2} + p \bullet \Delta V_{1,2}$$

$$\begin{aligned}di - v \bullet dp &= d(u + p \bullet v) - v \bullet dp = \\ &= du + d(v \bullet p) - v \bullet dp = du + v \bullet dp + p \bullet dv - v \bullet dp = \\ &= du + p \bullet dv\end{aligned}$$

$$di - v \bullet dp = du + p \bullet dv$$

I zasada termodynamiki

Przepływ ciepła zależy od różnicy temperatur. Ilość wymienianego ciepła jest w związku z tym proporcjonalna do różnicy temperatur, przy której zachodzi wymiana

$$Q_{1,2} = c \cdot m \cdot \Delta T_{1,2}$$

$$q_{1,2} = c \cdot \Delta T_{1,2}$$

$$dq = c \cdot dT$$

I zasada termodynamiki

Termodynamika techniczna

$$c = \frac{q_{1,2}}{\Delta T_{1,2}} \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$$

$$c_m = \frac{Q_{1,2}}{n \cdot \Delta T_{1,2}} \left[\frac{kJ}{kmol \cdot K} \right]$$

I zasada termodynamiki

Termodynamika techniczna

$$T=\text{const} \quad c = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} c = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \left(\frac{q_{1,2}}{\Delta T_{1,2}} \right) = \infty$$

$$Q=0 \quad c = \frac{q_{1,2}}{\Delta T_{1,2}} = \frac{0}{\Delta T_{1,2}} = 0$$

I zasada termodynamiki

$$p = \text{const}$$

$$q_{1,2} = \Delta i_{1,2} - v \bullet \Delta p_{1,2} = \Delta i_{1,2} - v \bullet 0 = \Delta i_{1,2}$$

$$q_{1,2} = c_p \bullet \Delta T_{1,2}$$

$$\Delta i_{1,2} = c_p \bullet \Delta T_{1,2}$$

$$i = c_p \bullet T$$

I zasada termodynamiki

$$V = \text{const}$$

$$q_{1,2} = \Delta u_{1,2} + p \cdot \Delta v_{1,2} = \Delta u_{1,2} + p \cdot 0 = \Delta u_{1,2}$$

$$q_{1,2} = c_v \cdot \Delta T_{1,2}$$

$$\Delta u_{1,2} = c_v \cdot \Delta T_{1,2}$$

$$u = c_v \cdot T$$

I zasada termodynamiki

$$q_{1,2} = \Delta u_{1,2} + l_{1,2} = c_v \cdot \Delta T_{1,2} + p \cdot \Delta v_{1,2}$$

$$q_{1,2} = c_p \cdot \Delta T_{1,2}$$

$$c_p \cdot \Delta T_{1,2} = c_v \cdot \Delta T_{1,2} + p \cdot \Delta v_{1,2}$$

$$c_p - c_v = p \cdot \frac{\Delta v_{1,2}}{\Delta T_{1,2}}$$

I zasada termodynamiki

$$p \bullet v_1 = R \bullet T_1$$

$$p \bullet v_2 = R \bullet T_2$$

$$p \bullet v_2 - p \bullet v_1 = R \bullet T_2 - R \bullet T_1$$

$$p \bullet \Delta v_{1,2} = R \bullet \Delta T_{1,2}$$

$$p \bullet \frac{\Delta v_{1,2}}{\Delta T_{1,2}} = R$$

$$c_p - c_v = R$$

I zasada termodynamiki

$$C_p - C_v = R$$

$$C_{pm} - C_{vm} = R_m$$

I zasada termodynamiki

- Zgodnie z zasada ekwipartycji energii dostarczane ciepło będzie równomiernie rozkładane na wszystkie stopnie swobody cząstek gazu
- Gaz jednoatomowy będzie miał trzy stopnie swobody, gaz dwuatomowy będzie miał pięć stopni swobody, a gazy trzy- i więcej-atomowe będą miały sześć stopni swobody
- Na każdy stopień swobody przypada energia $\frac{1}{2} R$

I zasada termodynamiki

$$c_v = \frac{1}{2} \cdot f \cdot R$$

$$c_p = \frac{1}{2} \cdot f \cdot R + R = \left(\frac{1}{2} \cdot f + 1 \right) \cdot R$$

I zasada termodynamiki

$$K = \frac{c_p}{c_v} = \frac{\left(\frac{1}{2} \cdot f + 1\right) \cdot R}{\frac{1}{2} \cdot f \cdot R} = \frac{f + 2}{f} = 1 + \frac{2}{f}$$

I zasada termodynamiki

- Dla gazów jednoatomowych (He, Ne, Ar)
- Dla gazów dwuatomowych (O_2 , N_2 , H_2 , CO)
- Dla gazów trzy- i więcej-atomowych (H_2O , CO_2 , CH_4 , NH_3)

$$\kappa = 1 + \frac{2}{3} = \frac{5}{3} = 1,67$$

$$\kappa = 1 + \frac{2}{5} = \frac{7}{5} = 1,4$$

$$\kappa = 1 + \frac{2}{6} = \frac{4}{3} = 1,33$$

I zasada termodynamiki

$$\kappa = 1 + \frac{2}{f} \rightarrow f = \frac{2}{\kappa - 1}$$

$$c_v = \frac{1}{2} \cdot f \cdot R = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{\kappa - 1} \cdot R = \frac{1}{\kappa - 1} \cdot R = \frac{1}{\kappa - 1} \cdot \frac{R_m}{\mu}$$

$$c_p = \kappa \cdot c_v = \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot R = \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot \frac{R_m}{\mu}$$

I zasada termodynamiki

Sprawność zamiany ciepła w pracę
przy izobarycznym dostarczaniu ciepła

$$\eta = \frac{l_{1,2}}{q_{1,2}} = \frac{p \cdot \Delta v_{1,2}}{c_p \cdot \Delta T_{1,2}} = \frac{R \cdot \Delta T_{1,2}}{\frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot R \cdot \Delta T_{1,2}} = \frac{\kappa - 1}{\kappa}$$

I zasada termodynamiki

Termodynamika techniczna

$$\eta = \frac{l_{1,2}}{q_{1,2}} = \frac{p \cdot \Delta v_{1,2}}{c_p \cdot \Delta T_{1,2}} = \frac{R \cdot \Delta T_{1,2}}{\frac{\kappa}{\kappa-1} \cdot R \cdot \Delta T_{1,2}} = \frac{\kappa-1}{\kappa}$$

$$\kappa = \frac{4}{3} \rightarrow \eta = \frac{\frac{4}{3}-1}{\frac{4}{3}} = \frac{1}{4} = 25\%$$

$$\kappa = \frac{7}{5} \rightarrow \eta = \frac{\frac{7}{5}-1}{\frac{7}{5}} = \frac{2}{7} = 28,6\%$$

$$\kappa = \frac{5}{3} \rightarrow \eta = \frac{\frac{5}{3}-1}{\frac{5}{3}} = \frac{2}{5} = 40\%$$

I zasada termodynamiki

Najlepsze własności
termodynamiczne posiadają gazy
szlachetne (gazy jednoatomowe)
Najgorsze własności
termodynamiczne mają para
wodna (H_2O) i spaliny ($\text{CO}_2 +$
 $\text{H}_2\text{O} + \text{N}_2$)